

USN을 위한 결함허용 라우팅 프로토콜의 설계

Design of a Fault-Tolerant Routing Protocol for USN

오선진*

Sun-Jin Oh

요 약 유비쿼터스 센서 네트워크(USN)는 센서 노드들이 자유롭게 이동하며 망을 구성하고, 시스템에 접속하여 통신하는 환경을 말하며, 고정 망이 필요 없으므로 접근이 어려운 지역이나 전장 또는 재난 구조를 위한 응용을 위해 임의로 배치될 수 있다. 무선 센서 망 프로토콜은 자가 구성 능력을 가지며, 노드들의 이동성으로 인해 네트워크 회선 단절을 유발하기 쉬우므로 토폴로지 변경에 유연하게 적응하면서 동시에 센서 노드들이 서로 협력하며 동작하는 기법이 요구된다. 본 논문에서는 이러한 환경에서의 효율적인 토폴로지 구성과 데이터 전송을 보장하고자 노드 이동성으로 인한 망 단절에 경로 재설정을 위한 망 재구성 없이 유연한 클러스터 기반 결함허용 라우팅 프로토콜을 설계하고, 분석적 모델을 통하여 그 성능을 평가한다.

Abstract Ubiquitous sensor network is the communication environment where sensor nodes move freely and construct network to get the services from the system. So, it does not need fixed infrastructure and can easily be placed in unaccessible regions like war or calamity area. Wireless sensor network protocol has self-organizing capability, need to adapt topology change flexibly and also has technique that sensor nodes work cooperatively, because network disconnection is frequently occurred due to the active mobility of sensor nodes. In this paper, we design a cluster based fault-tolerant routing protocol for the efficient topology construction and to guarantee stable data transmission in USN. The performance of the proposed protocol is evaluated by an analytic model.

Key words : fault-tolerance, routing protocol, USN, OLSR

I. 서 론

무선 센서 망 기술, 저 전력 RF 설계 기술과 무선 단말 기술 등의 발전과 더불어, 유비쿼터스 센서 네트워크(USN)의 응용과 전송기술이 급속히 연구되고 있다. USN은 많은 수의 센서 노드들이 일정 관심지역 내에 조밀하게 배치되어, 일시적인 무선망을 형성하여 데이터를 수집하고 백본 노드로 전송하게 된다. 따라서 USN은 고정된 인프라를 구축하기 힘든, 접근이 어려운 지형이나 군사 활동이 벌어지는 전장, 학술대회 장소, 또는 헬스, 환경감시, 공정관리 재난 감시, 홈 네트워크 등 다양한 응

용에 적용될 수 있고, 이때 센서 노드들은 센싱, 데이터 처리, 통신 컴포넌트들로 구성된다.^[1]

고정된 통신 인프라가 없는 무선 센서 망으로부터 정보 수집을 위해서는 센서 노드들 간의 무선 애드-혹 네트워킹 능력을 필요로 하는데 기존의 무선 애드-혹 망을 위해 제안된 라우팅 프로토콜들은 센서 망이 가지는 특성들로 인해 그대로 적용하기에 부적합하다. 즉, 무선 센서 망의 자가 구성 능력, 제한된 전력의 사용, 그리고 데이터 중심적 특성을 고려한 수정된 라우팅 기법이 요구된다. 더욱이, USN은 무선 인터페이스를 사용하는 각종 센서 노드들이 고정 망을 사용할 수 없는 환경에서 임시로 구성되는 망으로 구성 노드들이 임의로 언제든 이동할 수 있는 이동성을 갖는다. 따라서 노드들 간의 잦은

*정회원, 세명대학교 정보통신학부
접수일자 2009.03.12, 수정완료 2009.04.04.

링크 단절과 경로 재설정 문제가 유발될 수 있고, 이로 인해 안정적인 망 설정과 유지 및 전송 경로 유지 및 변경을 위한 많은 망 내 트래픽과 비용이 소요된다.^[2]

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 안정적인 망 구성을 위한 클러스터 기반 사전적 망 구성 기법과 반응적 존 기반 라우팅 알고리즘을 동시에 적용한 혼합형 결합허용 라우팅 프로토콜을 제안한다. 이는 망 구성과 유지를 위한 추가적인 제어 메시지 트래픽을 최소화하고, 아울러 데이터 전송을 위한 안정적이고 신뢰성 있는 링크 경로 설정과 유지를 할 수 있다. 본 논문에서 제안한 클러스터 기반 결합허용 라우팅 프로토콜은 현재 무선 센서 망에서 널리 사용되는 OLSR 프로토콜과 그 성능을 분석적 모델을 통하여 비교한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 연구와 연관된 라우팅에 관한 관련 연구를 살펴보고, 3장에서는 시스템 모델과 클러스터 기반 결합허용 라우팅 프로토콜을 제안하였으며, 4장에서는 제안한 라우팅 알고리즘을 구현하였다. 그리고 5장에서는 그 성능을 기존의 OLSR 프로토콜과 분석적 모델을 통하여 비교하였고, 마지막으로, 6장에서 결론과 향후 연구과제로 맺는다.

II. 관련 연구

센서 라우팅은 응용에 따른 센서 망의 종류에 따라 그 효율성에 영향을 받는다. 무선 센서 망은 사전적(proactive)망과 반응적(reactive)망으로 나눌 수 있으며, 센서 망에 적용될 대표적인 기법들은 다음과 같다.

OLSR^[3]은 사전적(proactive) 경로 설정 프로토콜로서, 유선망에서 사용되는 Link State 프로토콜을 무선 애드-혹 망 환경에 맞게 최적화한 프로토콜이다. 사전적 경로 설정 프로토콜은 경로 설정 테이블을 유지하기 위해 주기적으로 링크 정보 메시지를 망 내의 모든 노드들에게 blind 플러딩 한다. 하지만 OLSR은 MPR (Multi-Point Relay)이라 불리는 특정 노드만이 링크 정보 메시지를 재전송함으로써 불필요한 중복 메시지를 줄일 수 있다. 네트워크의 모든 노드들은 이웃 노드들과 주기적으로 hello 메시지를 교환하고, 이 메시지를 통해 MPR set을 구성한다.

Directed diffusion^[4]은 싱크의 질의 방송에 기반을 둔 데이터 중심적 라우팅 기법으로 질의 유포 및 처리, 응용

에 적합한 특성을 가진다. 이 방법은 플러딩을 막기 위해 경로들 중 전송 품질이 좋은 몇 개의 강화된 경로를 통해 데이터 전송이 이루어지게 하며 특히 이 프로토콜은 P2P 모바일 환경과 같은 일정 기간 동안 서비스가 지속되는 질의에 적합하다.

SPIN(Sensor protocol for information via negotiation)^[5]은 협상과 자원 적응에 의해 플러딩의 결함을 처리하기 위해 설계된 것으로, 센서 노드가 데이터에 대해 광고하고, 싱크로부터 요청을 기다리는 형태의 데이터 중심적 라우팅 기법이다.

SAR(Sequential assignment routing)^[6]은 라우팅 결정을 위해 각 경로에 있는 에너지 자원과 QoS, 그리고 각 패킷의 우선순위를 고려한다. 트리구조의 다중 경로가 설정되어 특정 경로가 실패하는 경우에도 경로 재계산을 위한 오버헤드가 없는 것이 특징이다.

LEACH(Low-energy adaptive clustering hierarchy)^{[7][8]}는 클러스터 기반 라우팅 기법으로, 클러스터 헤드가 멤버 노드들로부터 데이터를 수집하여 데이터 퓨전을 통해 직접 싱크로 전달한다. 이 기법의 특징은 망 내의 모든 노드들의 에너지 소비를 공정하게 분산하기 위해 클러스터 헤드를 무작위로 순환시키고, 데이터를 모아 지역적으로 퓨전 함으로써 통신비용을 줄인다.

TEEN(Threshold sensitive energy efficient sensor network protocol)^[9]은 센서 노드들이 주기적으로 전송할 데이터를 가지지 않고 클러스터 헤드가 방송한 임계값에 기반을 두어 감지된 데이터 전송 여부를 결정하는 점을 제외하고는 LEACH와 유사하다. 한편, Adaptive TEEN^[10]은 TEEN과 같은 형태로 시간에 따라 임계적으로 데이터를 처리하고, 사전적 동작을 위해 센서 노드가 카운트 시간 동안 데이터를 전송하지 않는 경우 데이터를 감지해서 클러스터 헤드로 전송함으로써 TEEN의 단점을 보완 개선하였다.

III. 시스템 모델

기존 무선 애드-혹 망을 위해 제안된 라우팅 프로토콜들은 유비쿼터스 센서 네트워크에 그대로 적용하기에 적합하지 않다. 그 중요한 이유는 센서 망은 애드-혹 망에서 보다 노드 수가 여러 차수 이상 많으며, 조밀하게 분포되어 있어서 실패하기 쉽고, 토폴로지가 빈번하게

변화한다. 센서 노드들은 주로 브로드캐스트 방식의 통신에 기반을 두어 무선 애드-혹 망의 점-대-점 방식과는 상이하다. 센서 노드들은 제한된 전력, 연산 능력, 그리고 메모리를 가지며, 무선 센서 망은 데이터 중심적인 특성을 가지면서, 특정 노드 간 라우팅이 필요하지 않으므로 기존의 무선 애드-혹 라우팅 기법을 그대로 적용하기에는 적합하지 않다.^[11]

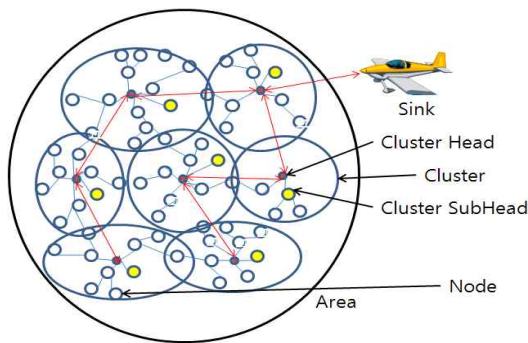


그림 1. 시스템 모델
Fig. 1. System model.

본 논문에서 고려하는 무선 센서 망은 특정 지역에 다수의 센서 노드들이 배치되고, 그 지역에 클러스터 헤드들이 선정되어 각각 클러스터를 형성하고, 클러스터 헤드의 이동성으로 인한 망 단절에 대한 결합허용을 위해 각 클러스터마다 부헤드를 둔다. 선정된 클러스터들은 백본이 위치한 싱크로부터 질의 요청이 있을 때 반응적인 방법으로 클러스터 간 망이 형성되고 클러스터 헤드를 중심으로 데이터가 백본 노드로 전송된다. 그림 1은 본 논문에서 고려한 시스템 모델을 보여 준다.

1. 클러스터 망 구성

특정 지역에 유포된 센서 노드들은 센싱, 데이터 처리, 통신 컴포넌트들로 구성되며, 통신을 담당하는 컴포넌트 중 선정된 노드가 클러스터 헤드가 되어 이 노드를 기준으로 1-홉 거리 모든 이웃노드들로부터 MPRs을 구성하고, 이어 1-홉 이웃 노드도 2-홉 거리 노드들로부터 MPRs을 구성한다. 이를 2-홉 노드의 이웃노드들이 모두 커버될 때까지 반복하여 헤드를 중심으로 하는 클러스터를 완성하고, 클러스터 헤드로부터 1-홉 거리의 포워딩 노드들 중에 에너지 잔량이 많고 연결 차수가 적은 노드를 부헤드로 선정한다. 부헤드는 MPR이 아닌 노드로 선

정하는데 그 이유는 첫째로 MPR중에서 부헤드가 되면 일반 노드로부터 데이터를 처리하면서 동시에 부헤드 자신의 정보도 유지해야 하므로 오버헤드가 커진다. 둘째로 클러스터 헤드에 고장이 발생하거나 클러스터를 이탈하는 경우 결합허용을 위해 부헤드가 헤드로 선정되면서 MPR Set을 재구성해야 하는 작업이 동반되기 때문이다. 따라서 부헤드는 MPR이 아닌 노드 중에서 에너지가 높은 노드로 선정한다. 그림 2는 구성된 클러스터 망의 구조를 보여준다.

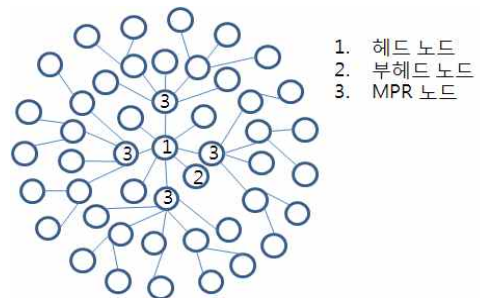


그림 2. 클러스터 망 구조
Fig. 2. Cluster network architecture.

2. 클러스터 망 유지

무선 센서 망의 토폴로지는 센서 노드들의 이동성으로 인해 유동적이기 때문에 매우 빈번하게 네트워크의 단절을 유발할 수 있고 또한 다수의 센서 노드들이 밀집되어 있기 때문에 통신 트래픽으로 인한 지연이나 자연적, 인위적 고장을 초래할 수도 있다. 따라서 초기 클러스터의 구성뿐만 아니라 구성된 클러스터의 유지 또한 중요한 문제이다. 이렇게 이동성이 높은 노드들로 구성된 클러스터 망을 유지하기 위해 클러스터 헤드와 동일한 정보를 가진 부헤드를 선정하여 클러스터 헤드의 이탈이나 과부하, 또는 고장이 발생했을 때 헤드의 역할을 부헤드가 대신하게 함으로써 클러스터 내의 망의 단절을 경로 재설정을 위한 망 재구성 없이 최소화하고 망을 안정적으로 유지하여 오버헤드를 줄일 수 있는 결합 허용의 특징을 갖는다. 그림 3 (a)는 클러스터 헤드가 클러스터를 이탈했거나 자연적, 인위적으로 고장을 일으킨 경우를 보여주고 (b)는 이 때 클러스터 헤드의 교체와 망을 복원하는 방법을 보여주고 있다.

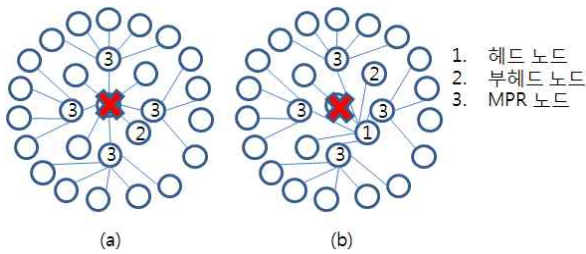


그림 3. 클러스터 헤드 이상과 복원
Fig. 3. Cluster head anomaly and recovery.

3. 클러스터 간 망 구성

백본 시스템이 있는 싱크노드로부터 지역 내 노드들에 질의 요청이 발생하면, 망은 on-demand 방식으로 특정 지역을 총괄하는 클러스터 헤드들 간에 질의 요청 처리를 위한 망이 구성된다. 망 구성은 반응적 방법으로 이루어지며 싱크 노드의 질의 방송에 기반한 데이터 중심적 라우팅 기법으로 질의 유포 및 목적지 클러스터 헤드까지의 최단 경로를 설정하게 된다.

센서 망에서는 인접한 노드들에 의해 수집된 정보는 유사성을 띠게 되는데, 이러한 유사한 정보의 중복 전송으로 인한 망 내 과도한 트래픽과 에너지 낭비를 초래할 수 있다. 따라서 이러한 유사 정보의 중복 전송을 줄이기 위해 최근 전송된 정보에 대한 최소 임계값을 두고, 이 임계값을 초과하는 데이터에 대해서만 싱크로의 데이터 전송이 이루어지게 한다. 이렇게 함으로써 망 내의 트래픽도 줄일 수 있고 데이터 전송에 참여하는 센서 노드들의 에너지 소비도 줄일 수 있다. 그러나 이 경우 센싱되는 데이터의 변화율이 낮은 경우에는 싱크 노드로 전송되는 데이터의 양이 적어져서, 망이 단절되어 데이터가 전송이 안되는 경우와 서로 구분되지 않기 때문에 관리에 어려움이 발생하게 된다. 이 문제를 해결하기 위해 각 클러스터 마다 싱크로의 데이터 전송이 안되는 최대 시간에 대한 임계값을 두고, 그 시간동안 싱크로의 데이터 전송이 발생하지 않는 경우에는 최근 센싱된 데이터를 싱크로 전송하도록 한다. 따라서 싱크노드에서는 이 임계 시간동안 특정 클러스터로부터 데이터의 전송이 없는 경우 그 클러스터와의 경로에 이상이 있음을 감지하고, 해당 클러스터 헤드로 네트워크 연결 확인 메시지를 보내게 되고, 일정 시간 안에 해당 클러스터 헤드로부터 회신이 없으면 그 클러스터와의 경로가 단절되었음을 결정하고, 경로 재설정 작업에 들어간다. 그림 4는 클러스터 간 망 구성의 예를 보여준다. 이와 같이 클러스터 간

망 구성에서 경로 단절이 발생하면 싱크노드는 해당 클러스터의 부헤드에게 경로 재설정 메시지를 보내고 이를 수신한 부헤드는 클러스터 헤드의 이상을 감지하고, 자신을 클러스터 헤드로 선출하고, 이어 1 홉 이웃거리의 노드들 중에서 부헤드 선정 알고리즘에 의해 부헤드를 선정 후, 경로 재설정 확인 메시지를 싱크노드로 전송함으로써 결함에 의한 망 단절에 대한 결함허용 처리를 과도한 망 재구성 없이 처리한다.

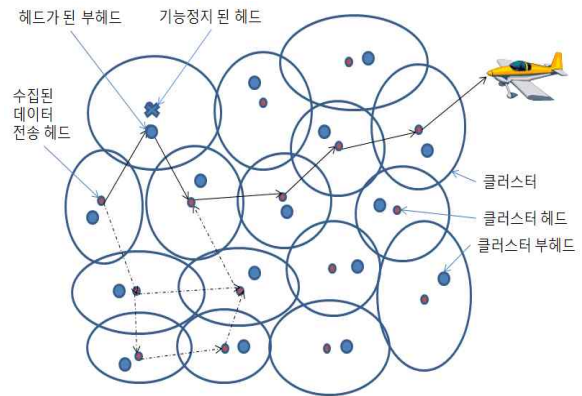


그림 4. 클러스터간 망 구성
Fig. 4. Construction of inter-cluster network.

IV. 구현 및 결과

이 장에서는 제안한 무선 센서 망을 위한 클러스터 기반 결함허용 라우팅 알고리즘을 소개한다. 그림 5는 특정 지역 내에 센서 노드들이 뿌려지고 그 지역의 주요 지점을 중심으로 클러스터 헤드가 선정되고, 클러스터 망이 구성되는 알고리즘을 보여준다.

```

// 헤드로부터 2홉 이웃노드가 모두 연결될 때까지 반복
{
    // 헤드로부터 1홉 이웃노드에 연결요청 메시지 전송
    Send(MPR Req Msg);
    // 1홉 이웃노드로부터 헤드에 회신
    Reply(ID, Link, Energy);
    // MPR Set 선정
    if(Link, MAX(Energy))
        SelectMPR(ID, Link);
    // 중복 경로 탐색 및 MPRs에서 제외
    if(ID, DUPSet)

```

```

DeleteMPR(ID, Link);
// 헤드로부터 2홉 이웃노드에 연결요청 메시지 전송
Send(MPR Req Msg);
(중략)

// 2홉 거리 노드들이 모두 포함될 때까지 반복
}
/* 부헤드 선정 알고리즘 */
// 헤드에서 1홉 거리의 노드에 대해
if(Node != MPR)
    if(MaxEnergy(Node) && Min(Distance(Node))
        SelectSubHead();
    
```

그림 5. 클러스터 망 구성 알고리즘
Fig. 5. Cluster network construction algorithm.

```

while(1)
{
    if(요청된 모든 헤드가 포함)
        break;
    // 질의 요청 지역 모든 헤드들에 interest 전송
    Send(Interest); // 질의 브로드캐스트
    Receive(Link); // 질의에 대한 응답 수신
    MakeInitPath(ID, Sub_ID); // 초기 경로 설정
    // 초기 경로 설정 시 부헤드 링크 정보 포함
}
MakeShortestPath(); // 최적 경로 설정

Send(Path, Data Req); // 싱크로 데이터 전송 요청
if(Receive(ID, Data) < Threshold(TIME)) // 연결상태 정상
    Store(ID, Data); // 수신 데이터 저장
else
    Send(ID, Data Req); // 헤드로 데이터 재전송 요청
    If(timeout) // 헤드로부터 응답이 없으면
        Send(Sub_ID, Data_Req); // 부헤드에 요청
    
```

그림 6. 클러스터간 망 구성 알고리즘
Fig. 6. Inter-cluster network construction algorithm.

그림 6은 클러스터들이 형성되고 싱크로부터 데이터 전송 요청 메시지가 도착하면 수신한 클러스터들 사이에 on-demand 방식으로 경로가 설정되어 망을 구성하는 준 기반 클러스터 간 망 구성 알고리즘을 보여준다. 이때 구성된 망의 경로는 최단경로 알고리즘을 이용하여 싱크로

의 최단경로가 만들어 지고, 싱크노드의 데이터 요청 메시지에 의해 클러스터 헤드로부터 싱크노드로 데이터의 전송이 개시된다. 데이터 전송 중 망의 단절이 발견되면 이를 복원하기 위해 해당 클러스터의 헤드에 데이터 재 전송 메시지를 보내게 되고, 일정 시간동안 응답이 없으면 부헤드에 메시지를 보내 망 단절을 알리고 결함허용 알고리즘을 실행하게 된다. 그림 7은 이렇게 형성된 클러스터 간 데이터 전송 망에서 클러스터 헤드의 이동성으로 인한 클러스터 이탈, 과부하 또는 고장과 같은 결함이 발생되어, 싱크 노드로의 데이터 전송이 제대로 일어나지 않는 결함상황에서 싱크 노드가 이를 인지하고 망의 단절된 경로를 망의 재구성 없이 복원하여 결함이 발생한 클러스터로부터 데이터를 재전송하게 하는 결함허용 알고리즘을 보여준다.

```

// Sink로부터 경로 재설정 요청 메시지 수신
if(!ResetS_ID, Sink)
{
    FindHead(); // 헤드를 찾음
    if(timeout) // 헤드로부터 회신이 없으면
    {
        ElectHead(SubHead); // 부헤드를 헤드로 선출
        /* 부헤드 선정 알고리즘 */
        // 헤드에서 1홉 거리의 노드에 대해
        if(Node != MPR)
            if(MaxEnergy(Node) && Min(Distance(Node))
                SelectSubHead();
            }
        }
    }
    
```

그림 7. 결함허용 알고리즘
Fig. 7. Fault-tolerance algorithm.

V. 성능 평가

이 장에서는 제안한 결함허용 라우팅 프로토콜의 성능을 분석적 모델을 통하여 평가하고, 이를 기존의 OLSR 프로토콜과 비교 평가한다. 표 1은 분석적 모델에서 고려한 파라미터를 보여준다.

표 1. 성능평가 파라미터

Table 1. Parameters for performance evaluation.

Parameter	Value
지역내 노드밀도 n	1221
클러스터 크기	37
최대 클러스터 수	33
결함발생 확률 p	0,01
질의 발생확률 q	0.005
시뮬레이션 시간 S	500 분

수식(1)과 (2)는 분석적 모델에서 사용한 비용 모델로 C_{our} 는 제안한 결함허용 라우팅 프로토콜에 대한 비용을, 그리고 C_{OLSR} 은 OLSR 프로토콜에 대한 비용을 나타낸다. 여기서 C_{init} 는 클러스터의 초기 망 구성비용, C_{main} 은 클러스터 내에서의 망 유지비용, C_{inter} 는 싱크노드의 질의에 의한 클러스터 간 망 구성비용, C_{error} 는 클러스터 헤드의 이상 현상(지역 이탈, 고장, 과부하 등)으로 인한 망 재설정 비용, 그리고 C_{mpr} 은 OLSR에서의 MPR간 망 구성비용을 각각 나타낸다.

$$C_{our} = C_{init} + S\left(\frac{1}{P}C_{main} + qC_{inter} + pnC_{error}\right) \quad (1)$$

$$C_{OLSR} = C_{init} + S\left(\frac{1}{P}C_{main} + qC_{mpr} + pnC_{mpr}\right) \quad (2)$$

그림 8은 제안한 결함허용 라우팅 프로토콜을 기존의 OLSR과 분석적 모델을 통하여 성능평가 한 결과이다. 그림에서와 같이 제안한 라우팅 프로토콜의 초기 망 구성비용이 OLSR에 비해 5배 이상 현저하게 적게 나타난 반면, 평소 클러스터 내 망 유지비용은 서로 유사하게 나타났다. 싱크노드로 부터의 질의 요청에 따른 경로 설정을 위한 클러스터 간 망 구성비용은 OLSR에 비해 제안한 결함허용 라우팅 프로토콜이 현저하게 작았다. 이는 OLSR과는 달리 제안한 프로토콜에서는 전 지역을 클러스터링 하여 운영하는 데 기인한다. 따라서 그림에서 보는 바와 같이 망 운영을 위한 전체 비용 측면에서는 시뮬레이션 기간 동안 OLSR 프로토콜이 제안한 결함허용 라우팅 프로토콜에 비해 상대적으로 오버헤드가 크게 나타남을 알 수 있다. 특히 망 단절 및 과부하 또는 고장과 같은 이상 현상이 발생했을 때의 클러스터 간 경로 재설정

을 위한 망 재구성 비용은 제안한 결함허용 라우팅 프로토콜의 경우 단지 클러스터 헤드의 교체로 경로 재설정을 위한 망 재구성 없이 간단하게 클러스터 간 망 재구성이 이루어지는 반면 OLSR의 경우에는 네트워크 내의 전체적인 MPRs간의 망 재구성이 이루어져야 하므로 더 많은 망 구성비용이 소요되었음을 알 수 있고, 이는 시간이 지나 갈수록 그 격차가 더욱 커짐을 알 수 있다.

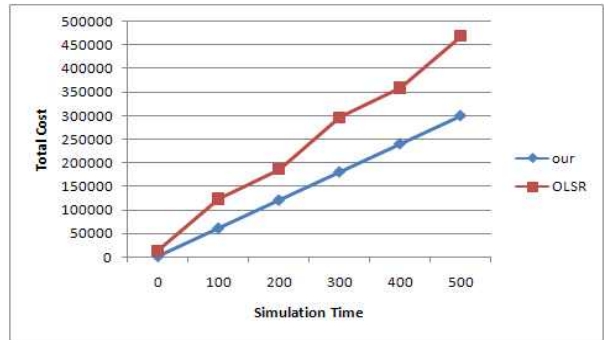


그림 8. 성능평가 결과

Fig. 8. Result of performance evaluation.

VI. 결론

유비쿼터스 무선 센서 네트워크는 시간과 장소의 구애 없이 밀집된 센서노드들이 자유롭게 이동하며 망을 구성하고, 시스템에 접속하여 통신하는 환경을 말하며, 센서 노드들의 이동성으로 인해 빈번한 망 단절이나 토폴로지 변화가 유발하는데 이에 유연한 라우팅 프로토콜이 요구된다. 본 논문에서는 이러한 환경에서의 효율적인 토폴로지 구성과 데이터 전송을 보장하고자 클러스터 기반 사전적 망 구성과 준 기반 반응적 라우팅 프로토콜을 혼합한 클러스터 기반 결함허용 라우팅 프로토콜을 설계하고, OLSR 프로토콜과 그 성능을 분석적 모델을 통해 비교 평가하였다.

성능평가 결과, OLSR 프로토콜의 초기 망 구성을 위한 비용이 많이 드는 반면 제안한 프로토콜의 경우 클러스터를 기반으로 망을 구성함으로써 초기 망 구성비용이나 망 유지비용 측면에서 비용이 절감되었고, 특히 네트워크 단절, 과부하 또는 고장과 같은 이상 현상이 발생했을 때 이에 대한 강한 결함허용 기능을 제공함으로써 망 유지와 센서노드들의 활발한 이동성으로 인한 망 단절에 대한 유연성을 부여한다. 향후 연구과제로는 제안한 클

러스터 기반 결합허용 라우팅 프로토콜을 ns-2를 이용하여 모의실험을 하는 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Carlos de Morais et al., "Mobile Ad-hoc Networking," *In Proc. of 20th Brazilian Symposium on Computer Networks*, Short Course, pp.125-186, 2002.
- [2] Ian F.Akyildiz et al., "A survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol.40, No.8, pp.102-114, Aug. 2002.
- [3] T. Clausen, P. Jacquet, A. Laouiti, P. Minet, P. Muhlethaler, A. Qayyum, L. Viennot, "Optimized Link State Routing Protocol," *RFC 3626*, <http://ietf.org/rfc/rfc3626.txt>, 2003.
- [4] C. Intanagonwiwat et al., "Directed diffusion for wireless sensor networking," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol.11, No.1, pp.2-16, Feb. 2003.
- [5] K. Sorabi et al., "Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network," *IEEE Personal Communication*, Vol.7, No.5, pp.16-27, 2000.
- [6] Wendi B. Heinzelman et al., "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, Vol.1, No.4, pp.660-670, Oct. 2002.
- [7] W.R. Heinzelman et al., "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," *Proc. of ACM Mobicom 99*, pp.174-185, 1999.
- [8] Fan Ye, et al., "A scalable solution to minimum cost forwarding in large sensor networks," *Proc. Tenth International Conference on Computer Communications and Networks*, pp.304-309, 2001.
- [9] Arati Manjeshwar et al., "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," *Proc. 2nd Int'l Workshop Parallel & Distributed Computing Issues in Wireless Networks & Mobile Computing*, 2001.
- [10] Arati Manjeshwar et al., "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks," *IEEE Proc. Of the Int'l. Parallel and Distributed Processing Symposium(IPDPS'02)*, pp.195-202, Apr. 2002.
- [11] M. Caesar, M. Castro, E. Nightingale, G. O'Shea, and A. Rowstron, "Virtual Ring Routing: Network Routing inspired by DHT's," *In Proc. of ACM SIGCOMM'06*, Sept. 2006.

저자 소개

오 선 진(정회원)

제 6권 2호 참조